

Article de synthèse

Reçu: 01 Février 2022/Accepté: 03 Mars 2022

Application du SIG pour l'amélioration des techniques de conservation des sols et des eaux de ruissellement : exemple du bassin versant du barrage d'Ighil Emda en Algérie

A. Hamdani^{1*}, M. Arabi²

¹ Faculté des sciences de la Nature et de la vie et des sciences de la Terre, Université de Bouira 10000. Algérie. Laboratoire de valorisation des ressources biologiques et assurance qualité Algérie.

² Institut national de recherche forestière (INRF), Station Ain Dheb, 26001 Médéa, Algérie. almouraddz@yahoo.fr

*Auteur correspondant : hamdani.aziz@gmail.com

ملخص

تعد تقنيات الهندسة الريفية للدفاع عن التربة واستعادتها والحفاظ على المياه أحد الأمثلة على التراث العلمي والتقني الموروث، الثمين جداً، والذي استجاب لاحتياجات التنمية الريفية لمستجمعات المياه والتي تم تطبيقها إلى حد كبير بشكل خاص في الجزائر خلال الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين وتم نقلها إلى دول أخرى بعد ذلك. إذا اعتقد بعض المؤلفين أن نتائج تطبيق تقنيات DRS لم تكن مرضية، فسيكون ذلك بسبب الاستخدام غير المناسب وغير المناسب لهذه التقنيات. لقد أظهرنا في هذا المقال المساهمات والقيم المضافة التي يمكن أن تقدمها نظم المعلومات الجغرافية لتعزيز تقنيات الدفاع عن التربة واستعادتها والحفاظ على المياه، لذلك كان الأمر يتعلق ببناء قاعدة بيانات في شكل مستجمعات المياه سد إيغيل عمدة في منطقة خراطة في منطقة القبائل الصغيرة (الجزائر). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أهمية وضرورة اللجوء إلى الرقمنة والنمذجة في عملية الدراسات وتطبيق تقنيات الدفاع عن التربة واستعادتها والحفاظ على المياه.

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه، ترشيد، مياه، إيغيل عمدة، نظم المعلومات الجغرافية، تربة.

Abstract

The techniques of rural engineering for soil defense and restoration and water conservation are one of the examples of the inherited scientific and technical heritage, so valuable, which have met the needs of rural development of watersheds and which was widely applied especially in Algeria during the sixties and seventies of the 20th century and transposed to other countries thereafter. If some authors consider that the results of application of the DRS techniques were not satisfactory, it would be due to the way of unsuitable and inappropriate use of these techniques. In this article we have shown the contributions and benefits that GIS can bring to promote the techniques of defense and restoration of soils and water conservation, for this purpose, it was a question of building a GIS database of the watershed of the dam of Ighil Emda in the region of Kherrata in small Kabylie (Algeria). The results obtained show the importance and the indispensability of modern information technology to the techniques of defense and restoration of soils and water conservation

Keywords: Conservation, GIS, Ighil Emda, Soil, water, watershed.

Résumé

Les techniques du génie rural de défense et de restauration des sols et de conservation des eaux en sont l'un des exemples du patrimoine scientifique et technique héritées, si précieux, qui ont répondu aux besoins d'aménagement rural des bassins versants et qui fut largement appliquées notamment en Algérie durant les années soixante et soixante-dix du 20e siècle et transposées à d'autres pays par la suite. Si certains auteurs estiment que les résultats d'application des techniques de DRS n'ont pas été satisfaisants, ce serait dû à la manière d'utilisation inadaptée et inappropriée de ces techniques. Dans le présent article nous avons montré les apports et les valeurs ajoutées que peuvent apporter les SIG pour promouvoir les techniques de défense et de restauration des sols et de conservation des eaux, pour cela, il a été question de construire une base de donnée sous forme de SIG du bassin versant du barrage d'Ighil Emda dans la région de Kherrata en petite Kabylie (Algérie). Les résultats obtenus montre l'importance et l'indispensabilité de recourir à la numérisation et la modélisation dans le processus d'études et d'application des techniques de défense et de restauration des sols et de conservation des eaux.

Mots clés : Bassin versant, Conservation, eau, Ighil Emda, SIG, Sol.

1. Introduction

Les versants du domaine tellien du nord de l'Algérie n'ont jamais connu de telle dégradation tel que l'était durant les 30 dernières années où des pertes énormes des sols ont été occasionnées, des systèmes aquifères perturbés et une biodiversité érodée en instaurant une situation d'irréversibilité par endroit (Morsli et al. 2012). Aujourd'hui, cette dégradation que subit les versants menace dangereusement l'environnement, le processus du développement durable et hypothèque l'avenir des générations futures du fait de la disparition des patrimoines naturels notamment le sol et l'eau. Les feux des forêts, les pressions démographiques, l'urbanisation non maîtrisée et les pratiques impropres et irrationnelles étaient à l'origine de ces drames écologiques et environnementaux auquel on assiste (Benderradji et al. 2006) et le bassin versant du barrage d'Igile Emda en petite Kabylie des Babors d'Algérie en est l'une des meilleures illustrations d'un territoire en déséquilibre écologique et environnemental. Donc, la prise en charge urgente et immédiate de ces problèmes demeure une nécessité absolue et impérieuse, et ceci ne peut se faire que par la mise en œuvre et l'application des techniques visant la reconstitution, la défense et la restauration de l'équilibre environnemental.

En Algérie, les techniques du génie rural, notamment les reboisements, les banquettes et les corrections des lits des torrents, conçus au contexte algérien, avaient largement marqué les paysages des versants durant les années cinquante jusqu'aux années soixante-dix du 20^e siècle, c'était des actions menées dans une perspective de rénovation rurale et de relance économique basée sur la réforme des systèmes de production ruraux. Des scientifiques et des praticiens du génie rural ont tiré la sonnette d'alarme sur les dégâts environnementaux et socioéconomiques causés par les pertes de la productivité des terrains. À cet effet, de nombreux travaux scientifiques ont été publiés (Benchetrite 1955 ; Benchetrite 1972) et traduits en guide technique de conservation et de restauration des milieux physiques et naturels. L'éveil scientifique avait mû la conscience des autorités de l'époque coloniale et poste indépendance à la question du sol et l'eau où ils ont lancé un vaste programme d'aménagement des bassins versants. Bien

que des résultats indéniables étaient observés ici et là, certains ont estimé que ces pratiques antiérosives notamment les banquettes étaient un échec (Heusch, 1986), cela ne remet pas en cause les techniques elles-mêmes soigneusement conçues et expérimentalement prouvées, mais c'est en raison de la non-conformité des différentes techniques appliquées aux problèmes observés du fait de l'imprécision du diagnostic effectué sur les milieux à restaurer et à protéger. Aujourd'hui, dans le domaine de l'aménagement et du génie rural, les techniques modernes d'acquisition et de traitement de l'information et les systèmes d'information géographique ne peuvent être qu'avantageux dans la mesure où le bon usage va nous permettre d'affiner le diagnostic et l'examen du problème, d'agir correctement et à bon endroit par l'application des mesures adaptées de défense et de restauration.

Cette communication se propose d'une part dans l'optique de présenter le patrimoine scientifique en termes de techniques de défense et de restauration des sols et de conservation des eaux appliquées en Algérie, d'autre part de présenter les valeurs ajoutées que peuvent apporter les SIG et les techniques d'information modernes pour une meilleure et correcte application des techniques du génie rural de DRS, de conservation des eaux et d'aménagement des bassins versants (Tim & Mallavaram, 2003 ; Shi et al. 2004). A cet effet, nous avons choisi de mener ce travail sur l'un des bassins versants du tell d'Algérie du nord qui est le bassin versant du barrage d'Ighile Emda, ce bassin versant est choisi pour sa particularité de dégradation très avancée (Hamdani, 2012).

2. Principe et méthode de l'application du SIG dédiée aux techniques de conservation des eaux et des sols

Le présent travail a été basé principalement sur l'exploitation et la consultation d'un certain nombre de travaux scientifiques et techniques relatifs au génie rural de défense et de restauration des sols et de conservation des eaux réalisés dans le contexte géographique de l'Algérie et transposés sur d'autres pays. Parmi ces travaux scientifiques

et techniques, nous citons essentiellement ceux proposés par Manjauze (1960, 1961), Saccardy (1949) et Putod (1956). Ces travaux ont fait l'objet d'une synthèse faite par Greco et réunis dans un ouvrage sous forme de guide intitulé l'érosion qu'il a publié en 1966 en Algérie (Greco, 1966). En exploitant ces travaux, le principe a consisté à l'identification des exigences d'application des techniques scientifiques de DRS et de conservation des eaux en termes de données et d'informations d'entrée indispensables pour leur application et qui peuvent faire l'objet d'un SIG de gestion intégré des bassins versants (Chowdary et al. 2009 ; Sharma et al. 2001).

Donc, c'est autour de ce principe que nous avons conçu la structure et l'architecture de la base de données du système d'information géographique servant à l'étude d'aménagements et l'application des techniques de DRS et de la conservation des eaux dans le bassin versant du barrage d'Ighil Emda.

3. Les techniques proposées pour la conservation des eaux et des sols

Le principe fondamental de l'application de chaque technique, et qui constitue un préalable qui précède chaque action, est la connaissance précise du problème à résoudre. C'est pourquoi le diagnostic et l'examen poussés de la situation doivent être effectués et qui consistent à déterminer la nature et la typologie du problème, son intensité, ses mécanismes, les processus et les facteurs générateurs. Ces examens et diagnostic doivent s'opérer dans un système complexe multi composantes tel que représenté par le schéma ci-après (Figure 1).

A rappeler que le phénomène de l'érosion des sols était à l'origine de la l'invention des techniques de DRS en Algérie, c'est pour cette raison qu'une attention particulière doit être portée sur le zonage spatial du phénomène.

Les techniques proposées ont été conçues selon les problèmes rencontrés et les facteurs conditionnant leur application notamment les facteurs intrinsèques ou endogènes des milieux physiques et naturels, les facteurs exogènes agissant sur les milieux notamment le climat, et les facteurs socioéconomiques spécifiques à chaque communauté. En se basant sur les guides pratiques proposés par les auteurs et les concepteurs des techniques, nous

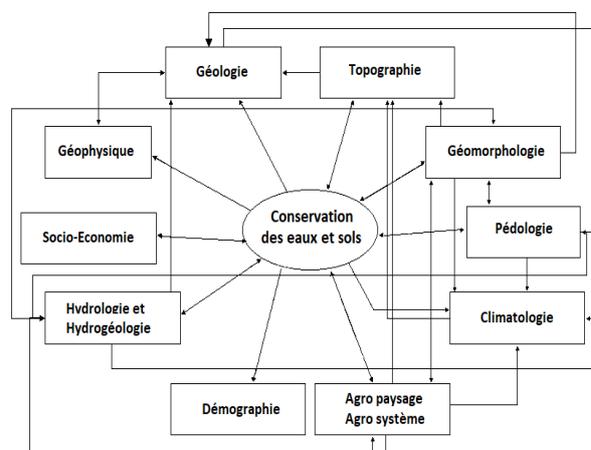


Figure 1. Schéma relationnel entre les composantes du milieu à prendre en compte et les aménagements ruraux

avons retenus les types d'aménagement et les techniques pratiques suivantes :

- Techniques de restauration des milieux par le reboisement ;
- Techniques d'adaptation cultural anti dégradation des milieux ;
- Techniques d'aménagement et de restauration mécaniques.

Les trois techniques peuvent être combinées dans des situations où la dégradation est avancée, et ceci pour un meilleur résultat et une meilleure rationalisation des terrains tel que l'illustrent les images de la (Figure 2).

4. Les exigences informationnelles d'application de chaque technique

Les exigences sont définies en partant du principe que le SIG est un système dynamique évolutif et productif qui nécessite une alimentation en informations d'entrée pour en dériver d'autres servant à l'analyse et l'exploitation. En effet, La connaissance des exigences informationnelles est l'élément de base sur lequel nous nous appuyons pour concevoir le modèle conceptuel du système d'information géographique dédié à la thématique de restauration, de défense et de conservation des sols et eaux.

En fait, les exigences informationnelles sont de deux types, le premier type d'informations, à carac-

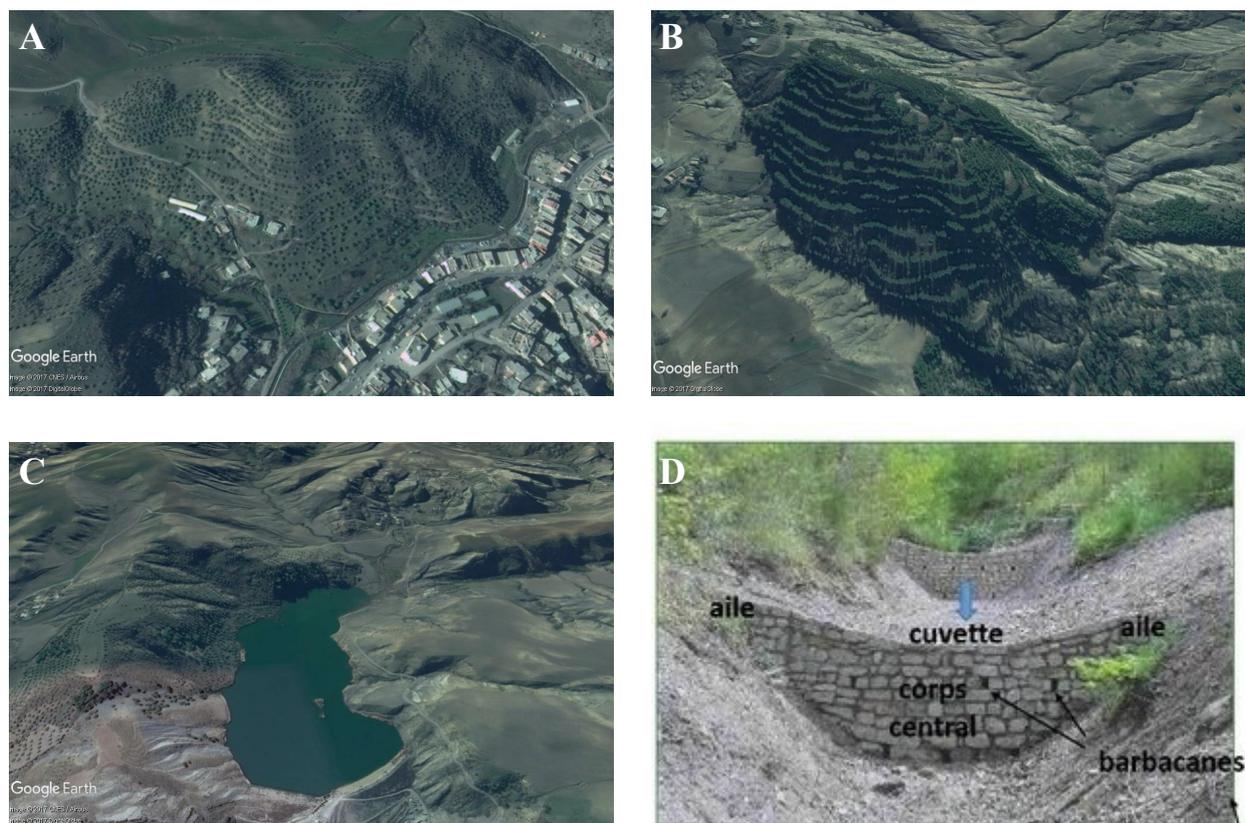


Figure 2. Techniques d'aménagement de défense et de restauration des sols et de conservation des eaux. **A:** Banquettes associées à la plantation d'oliviers ; **B:** Banquette associées au reboisement en pin d'Alep ; **C:** Retenue collinaire ; **D:** Correction torrentielle

tère quantitatif et qualitatif, servira pour l'analyse spatiale de l'état des versants et les calculs selon des formules empiriques dont les résultats seront exploités pour proposer les aménagements convenables et appropriés. Le deuxième type d'informations servira pour l'application des techniques elles mêmes citées dessus.

4.1. Informations servant aux techniques d'aménagements

4.1.1. Techniques de restauration des milieux par le reboisement

Ces techniques qui se proposent, selon le stade de dégradation des terrains qui va du stable jusqu'au stade final de dégradation selon 6 classes (Deloye et Rebour, 1953), visent à protéger et restaurer les terrains en leur adaptant les essences et

les cultures les plus appropriées. Les informations nécessaires pour leur application sont la classification des terrains selon leur productivité qui dépend de : la pente, la fertilité, l'exposition et l'humidité des terrains, la perméabilité, la cohésion du sol, l'humus et la présence de couverture végétale.

4.1.2. Techniques d'adaptation cultural anti dégradation des milieux

Ces techniques se proposent comme remèdes complémentaires visant le maintien de la fertilité et la structure des sols. Selon Greco (1966), Il s'agit des pratiques suivantes : sens de travail des terres, la fumure, les engrais verts, Mulch, programmation des rotations des cultures, ados et billons, dérayure, Gaufrage et culture en Bande.

Les informations nécessaires pour appliquer ces techniques sont les pentes topographiques, la

perméabilité, la fertilité, les types des cultures pratiquées et le climat.

4.1.3. Techniques d'aménagement et de restauration mécaniques

Selon ses concepteur et les praticiens du terrain, ces techniques se proposent dans des conditions très particulières de dégradation accentuée des terrains des versants aux pentes moyennes à fortes, et un régime hydrologique torrentiel provoquant une perte des sols et l'estompage de l'infiltration des eaux pluviales. Leurs mise en place doit se faire avec beaucoup d'attention et de vigilance techniques au risque d'occasionner des résultats pervers, les ouvrages réalisés sont souvent combinés et adaptées aux différentes spéculations agricoles.

Selon le guide de [Greco \(1966\)](#), Les techniques mécaniques de restauration et de conservation des sols et eaux proposées sont :

- Les terrasses
- Les murettes
- Les banquettes antiérosives et banquette d'épandage des crus
- Les seuils de stabilisation des lits des torrents
- Les ouvrages de déversement et d'épandage des eaux de ruissellement
- Les retenues collinaires

Il faut souligner que chacune des techniques s'emploi dans des conditions bien précises de topographie, de pédologie, de géotechnie et de géologie. Il est à rappeler que dans le présent travail, le propos n'est pas de revenir sur les détails de chaque technique mais plutôt de présenter les exigences en terme d'informations nécessaires à leur application et qui peuvent faire l'objet d'un SIG. Le lecteur peut retourner au guide pour en avoir d'amples détails.

Les informations nécessaires pour appliquer ces techniques sont :

- Les données du système et processus morphogénique des versants. La cartographie géomorphologique et morphodynamique détaillée est préalable. Les approches quantitative et qualitative doivent se combiner pour étudier le phénomène
- L'information morphométrique (pentes, altitudes, dénivelée...etc.)

- La géologie des versants, notamment la structure et lithologie
- La géotechnie (cohésion des sols, angle de frottement interne, poids volumique)
- La pédologie et l'hydrogéologie
- Les régimes hydrologiques des torrents (débits, vitesse et profils). L'hydrologie des cours d'eau du bassin versant doit faire l'objet d'une modélisation.

4.2. Informations servant aux calculs empiriques

Les formules empiriques utilisées dans le cadre des études et de mise en œuvre des techniques de conservation des sols et des eaux qui fut appliquée en Algérie sont :

- Les formules de calcul d'érosion des sols
- Les formules hydrologiques et hydrauliques
- Les formules de dimensionnement des ouvrages
- Les formules de sécurité des aménagements.

4.2.1. Les formules de calcul d'érosion des sols

selon [Greco \(1966\)](#), la formule qui fut largement appliquée en Algérie à cette époque était celle de Henin qui s'exprime comme suit :

$$E = (I_p \cdot \Pi \cdot S) / KV^e \quad (1)$$

Avec ; E: l'érosion, I_p : intensité des précipitation, Π : la pente topographique, S: susceptibilité du sol, K: perméabilité des sol, V^e : la végétation.

La thématique de quantification de l'érosion des sols a grandement marqué le paysage de la recherche scientifique de l'Algérie indépendante durant les soixante dernière années ([Roose, 2012](#)), à cet effet une infinité de modèles mathématiques localisés ont été développés.

Par ailleurs, d'autres modèles régionaux ont été éprouvés et jugés applicables au contexte géographique d'Algérie, nous citons le modèle de [Gavrillovic \(1976\)](#), la formule d'[ANRH/SOGREAH \(1989\)](#), [Texiron \(1960\)](#).

Il faut souligner que la plupart des formules empiriques utilisées font appelle aux paramètres morphométriques, physiographiques et géométriques des bassins versants, à savoir ; la surface,

l'altitude moyenne du bassin versant et le coefficient de torrentialité.

4.2.2. Les formules hydrologiques et hydrauliques

Elles s'emploient pour les calculs des débits des cours d'eau et torrents, et la proposition des seuils de stabilisation des torrents. Aujourd'hui, en hydrologiques et hydrauliques, le recours aux calculs manuels est rare, ce sont les logiciels de modélisation qui ont substitué à ces calculs. C'est une valeur ajoutée en terme de gain de temps et de précisions. L'alimentation du modèle mathématique (Singh & Woolhiser, 2002) servant à la modélisation hydrologique peut se faire à partir d'une base de données du SIG. Le logiciel SWMM est l'un des programmes disponibles gratuitement qui offre des possibilités hautement importantes de modélisation hydrologique du réseau hydrographique (Jang et al. 2007) Les informations pouvant faire objet de modélisation hydrologique sont ; le réseau hydrographique vectorisé et classifié, les surfaces des bassins et sous bassins versant et leurs exutoires, les surfaces d'impluviums des torrents et les paramètres climatiques.

4.2.3. Les formules de dimensionnement des ouvrages

Il s'agit des formules appliquées pour le dimensionnement des banquettes antiérosives et d'épannage des crues de Saccardy (1949) et les formules de correction torrentielle.

Dans le cas des banquettes on applique les relations suivantes :

Formules de Saccardy (1949) du seuil de dégradation imposant la place des banquettes et qui s'exprime comme suit :

$$H3/P= 260 \quad (2)$$

Pour la pente ne dépassant pas 25% et,

$$H2/P=64 \quad (3)$$

Pour les pentes supérieures à 25%, ce sont des formules qui relient la dénivelée topographique H à la pente des versants P et selon lesquelles on définit la densité du réseau des banquettes en terme de différence d'altitude et de distance horizontale

entre banquettes. Pour le dimensionnement des corrections torrentielles on applique les expressions suivantes de Saccardy (1949): l'expression qui donne le nombre de seuil (obstacle du torrent) qui est:

$$N= L. (P-I)/H \quad (4)$$

Avec L: longueur du torrent, P: pente moyenne du lit, I: pente de compensation, H: hauteur moyenne des seuil.

Il faut souligner que les caractéristiques intrinsèques des ouvrages doivent faire l'objet d'une étude d'engineering spécifique.

4.2.4. Les formules de sécurité des aménagements

L'aléa majeur auquel sont exposés les aménagements de défense et de restauration des sols, et de conservation des eaux est surtout les glissements des talus et versants naturels en général (Antoine et Biarez, 1971 ; Heusch, 1986). Garantir une stabilité des talus exige la détermination des valeurs critiques de la hauteur verticale des terrassements à opérer et la pente limite des talus. Dans ce cas, on recourt aux calculs géotechniques de la stabilité des talus artificiels, sur ce sujet, plusieurs approches et méthodes de calculs sont développées par les géotechniciens à savoir la méthode de Fellenius (1936), Bishop (1955) et Taylor-Biarez (1937-1960). Les informations exigées pour ce faire sont : la cohésion C, l'angle de frottement φ du sol terrassé et son poids volumique γ .

5. SIG et techniques de conservation des eaux et des sols, quelles données input et quel est l'apport ?

Selon les techniques proposées par les auteurs cités plus haut et présentées ci dessus, il est constaté que les principales informations et données indispensables pour leur application sont celles se rapportant aux paramètres géométriques, morphométriques et hydrologiques à savoir : Les dimensions planimétriques et altimétriques (surfaces, Longueurs, largeurs, dénivelés...), les valeurs des pentes topographiques et les profils topographiques.

Les paramètres géométriques servent au calcul des valeurs d'érosion des sols, à la modélisation, au dimensionnement des ouvrages de lutte anti érosive notamment les banquettes, et les ouvrage de stabilisation des lits des torrents notamment les seuils. Outre ces intérêt, les paramètres géométriques sont exploités pour déterminer précisément les possibilités d'affectations convenable des terrains des versants en terme de spéculations agricoles et arboricoles, et les méthodes des pratiques culturale adaptées, mais dans ce cas, et bien évidemment, les paramètres géométriques doivent être associés à d'autres informations tel que représenté dans le modèle conceptuel du SIG ci-après (Tableau 1).

Quant au rapport existant entre les paramètres géométriques en question et les SIG, il réside dans la capacité extrême et la puissance du SIG de pouvoir les extraire de façon aussi facile et dynamique possible à partir des cartes topographiques numérisées et vectorisées. La modélisation 3D des courbes de niveau vient pour rompre avec les méthodes traditionnelles de fabrication des cartes des pentes et d'exposition si fastidieuses qu'imprécises. La génération des profils topographiques est fait à partir des modèles numériques du terrain et ceci pour des distances aussi longues que l'on souhaite, l'intérêt du modèle numérique du terrain en domaine de géomorphologie et 'hydrologie est capital (Moore et al. 1991).

Nous avons bien souligné plus haut que l'étude et l'application des techniques de DRS, et de conservation des eaux ne peuvent se faire sans la connaissance précise des problèmes rencontrés.

6. SIG, échanges d'informations entre environnements informatiques et modélisation

L'interopérabilité et L'échange d'informations entre les différents programmes informatiques est l'une des particularités des logiciels de SIG (Tim & Mallavaram, 2003). Le processus d'échange consiste à basculer sur des programmes de modélisation mathématique et thématique et d'accès aux serveurs de données à distance et ceci dans l'intérêt de pouvoir modéliser le réel et rendre les résultats plus affinés dans un temps record. En génie rural, nous avons noté que les thématiques de l'hydrologie et de la géotechnie revêtent une importance capitale dans l'étude et la proposition des

aménagements, et c'est pourquoi le recours au logiciel spécialisé, notamment d'open source, est recherché. Dans les schémas suivants (Figure 3), nous présentons les différents programmes informatiques sollicités pour pouvoir mener correctement le processus d'étude des techniques de conservation des eaux et des sols.

7. SIG de conservation des eaux et des sols dans le bassin versant de Ighil Emda

7.1 Mise en place et alimentation de la base de données

Selon le schéma conceptuel représenté dans la table matricielle du Tableau 1, nous avons procédé à l'élaboration du SIG dédié à l'application des techniques de conservation des eaux et des sols sur le bassin versant du Barrage d'Ighil Emda. Le principe fondamental des Géodatabase du SIG consistait à l'unification du système de projection cartographique en l'occurrence l'UTM WGS84. L'étape suivante, qui n'est pas la moins importante, est celle de l'attribution des variables géométriques selon la nature et la typologie des informations graphiques à reproduire et auxquelles nous avons

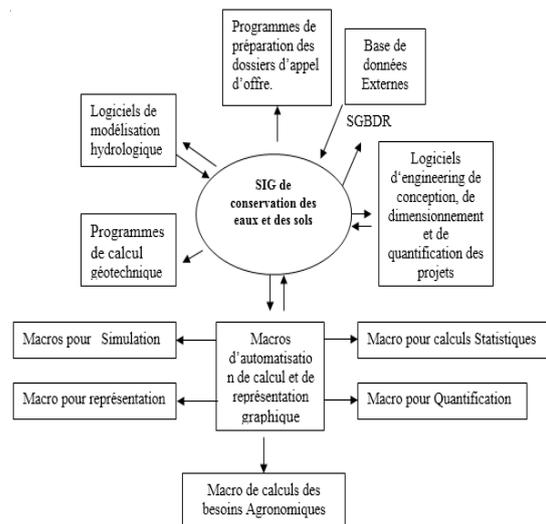


Figure 3. Echanges d'informations entre le SIG et les autres environnements informatiques

Tableau 1. Matrice conceptuelle de la base de données à implémenter et autour du quelle se ferait la construction du système d'information géographique appliqué en techniques de conservation des eaux et sols

		A	B	C	D
	Documents de Base	Informations graphiques à reproduire dans le SIG	Attributs Tabulaires et paramètres à insérer	Informations dérivés	Produits d'analyse combinatoire
1		Courbes de niveau	valeurs altimétriques	Modèle Numérique de Terrain. -Profils topographiques -Carte des pentes - Carte d'expositions des versants.	
2		Toponymie	hydronyme, toponymes, repères		
3	Cartes Topographiques et cartes climatiques	Limite des Bassins versants	surface, périmètre, indice de compacité, temps de concentration...		
4		Réseau Hydrographique	Densité de drainage, torrentialité, rapport de confluence, pente des lits, longueur, pente de compensation	(C1+ B3+ B4+ B5) modélisation hydrologique, débits et hauteurs de ruissèlement.	
5		Stations météorologique / isohyète et isotherme	précipitation, température, humidité, ETP et ETR, EV		-Caractérisation morphodynamique et morphogénique des versants et Cartographie (géomorphologique et hydro géomorphologique)
6	Géologie	Lithologie	Stratigraphie, pétrographie, résistance, paramètres géotechniques apparents des formations meubles (C, ϕ , γ)	(C1+ A6+ A7 +A8+ A9+B4) résistance stabilité des terrains vis-à-vis l'érosion, Stabilité des terrains vis-à-vis l'aléa de glissement.	- Quantification et détermination des stades de dégradation du milieu suivants la classification de Deloye & Rebour 1953 et selon laquelle on détermine la nature et le type d'aménagement à opérer, les moyens humains et matériels à engager pour chaque opération à mener.
7		Structure géologique	Disposition des couches et plans stratigraphiques		
8		Sources hydriques	débits		
9	Hydrogéologie	Aquifères	natures, niveau piézométrique		
11	Cartes Pédologiques affectation des Terres	Nature des sols	fertilités, humidité, perméabilité, humus,	C1+A11+A12+B4+B5)	
12		La couverture végétale	typologie, densité et statistiques	Productivité des terrains	
13		Parcelles	codification		
14	Photos satellitaires et Images satellitaires numériques Brutes	Infrastructures	Identification		- Elaboration des dossiers d'appels d'offre, de consultation, de bons de commande ...etc.
15		Occupation du Sol	typologie	Cartes de classification	
16		Activités économiques répétable	typologie et caractéristiques		
17	Données Géodésiques (GPS) et Photographie aérienne	Points géodésiques rattachés au NG selon une projection cartographique	Paramètres de photogrammétrie	(A17+B17+C1) - Orthophotoplans et Arpentage - Documents et Cartes de synthèse. Levés topographiques	- Plans d'exécution et Suivi de réalisation
18	Parcelle des terrains	Limites parcellaire du foncier	Affectation générale, sens de pratique, nature juridique		
19	Données des ressources de matières premières	Cartes de ressources minières non métalliques, ressources en bois et matériaux locaux ...	Nature et typologie, quantités et exploitabilité,		

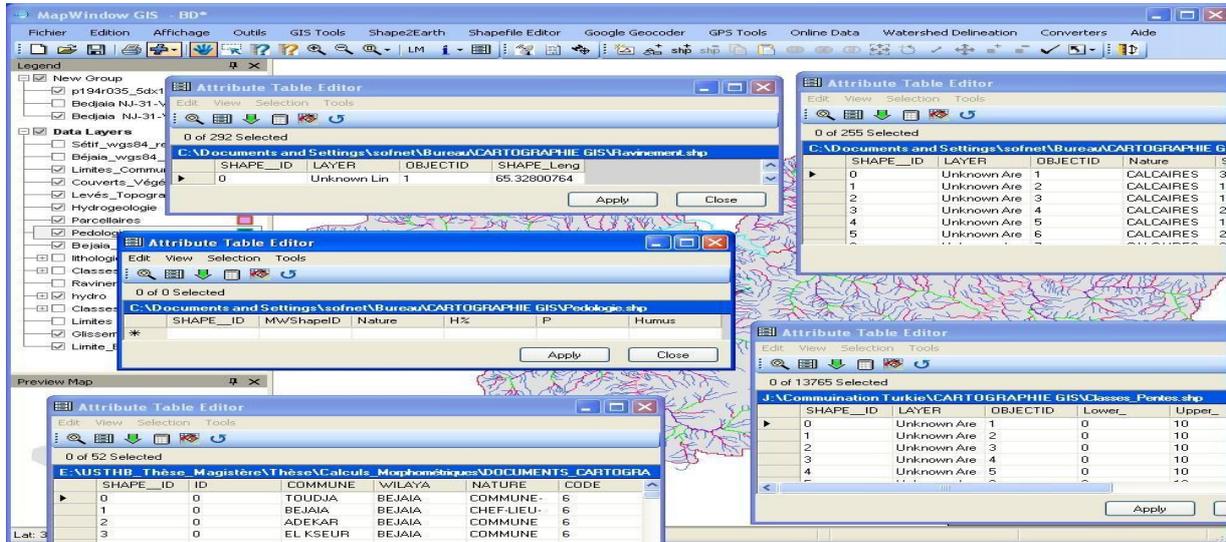


Figure 4. Géodatabase du SIG du Bassin versant du barrage d'Ighil Emda. Couches, entités géométriques et tables d'informations

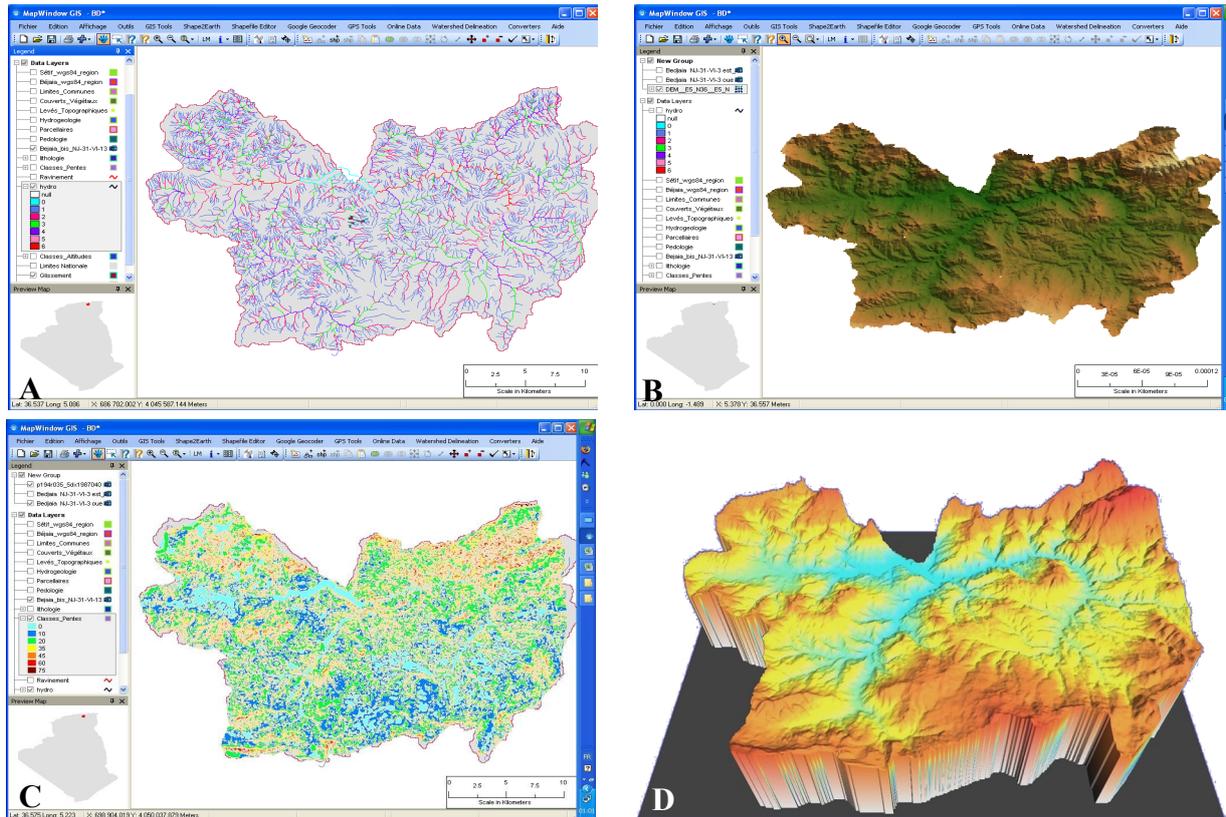


Figure 5. Produits dérivés à partir d'informations primitives (courbes de niveau et hydrographie) A. Réseau hydrographique classifié, B. Modèle numérique du terrain, C. Classification des pentes, D. Restitution 3D du modèle numérique du terrain

associé des données sémantiques tabulaires caractérisant chaque thématique.

L'acquisition des informations s'était faite selon différents procédés, soit par numérisation et géo-référencement des documents préexistants ou par procédé de géo-positionnement automatique indirect au moyen des coordonnées géographiques. Le procédé d'accès aux données externes selon le SGBDR nous a permis d'alimenter les bases de données à partir d'informations tabulaires auxquelles nous avons attribué des clés identifiants. Les informations dérivées du système d'information géographique se fait selon le croisement entre la lettre de colonne du tableau et le chiffre correspondant à la ligne du tableau. Dans la colonne D il est précisé l'information produite par analyse combinatoire.

Les deux Figures 4 et 5 illustrent respectivement les données d'entrée et les produits cartographiques et numériques dérivés de la base de données mère.

Nous soulignons que les programmes informatiques exploités sont des opens sources (Steiniger & Hay, 2009 ; Neteler & Mitasova, 2013 ; Mitchell, 2005) en l'occurrence le programme utilisé dans notre exemple est le MapWidows GIS.

7.2. La Cartographie géomorphologique et cartes d'occupation du sol

L'occupation du sol et la caractérisation morphodynamique du bassin versant ont été établies par l'exploitation des images satellites en l'occurrence celle diffusées par Google Earth moyennant

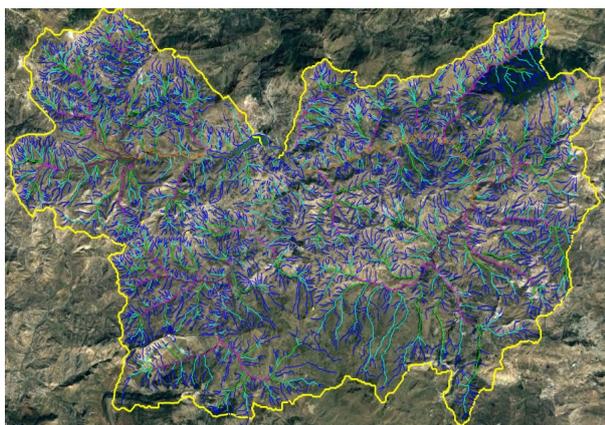


Figure 6. Superposition du réseau hydrographique du bassin versant sur l'image satellites

quelques corrections et restitution géométriques, procédé par lequel des ajustements d'images ont été faits en se basant sur des points de références précis. Le passage de l'environnement informatiques du SIG vers l'environnement informatiques de visualisation et de traitement d'images satellites a permis d'affiner l'information et la caractérisation du milieu sur le plan d'occupation du sol, morphodynamique et la définition des stades de dégradation, ceci permettrait de prescrire les solutions appropriées selon la classification de Deloye & Rebour (1953). La Figure 6 illustre une superposition d'informations vecteurs (réseau hydrographique classifié) sur une image de satellite.

7.3. Calculs empiriques et modélisation hydrologique

Les échanges d'informations contenues dans la Géodatabase du SIG avec d'autre environnement de logiciels spécialisés ont permis d'opérer plusieurs calculs et modélisation des phénomènes thématiques en relation avec la conservation des sols et des eaux. Les calculs effectués ont consisté à estimer les taux d'érosion qu'enregistre le bassin versant.

Des formules empiriques ont été programmées dans des macros développées à cet objectif, les exigences en informations nécessaires pour le calcul ont été satisfaites par l'extraction à partir du SIG. Quant à La modélisation hydrologique, qui est l'une des opérations les plus complexes, elle a servi à estimer les débits des écoulements des eaux de ruissellements et ceci dans l'objectif de proposer des aménagements hydrauliques selon les valeurs trouvées.

Les Tableaux 2 et 3 résument les résultats des calculs empiriques opérés.

7.4. Le passage du SIG vers Epa SWMM

Dans le présent travail nous nous sommes contentés de montrer l'opération de conversion de la base de données du SIG vers le logiciel de modélisation hydrologique EPA SWMM.

Pour pouvoir passer du SIG vers la modélisation hydrologique, il a été question d'adapter la structure tabulaire et les entités géométriques graphiques selon la forme convertibles et lisible par le programme SWMM. A cet effet, la conversion des données a été faite au moyen d'un outil dédié à

Tableau 2. Paramètres calculés par application de formules empiriques et exploitation du SIG

Caractéristiques du Bassin versant du Barrage d'Ighil Emda	Superficie S Km ²	Périmètre P km	Largeur moyenne l moy Km	Coefficient de forme Cf	Indice de compacité Ic	
Morphométrie	644	145,0	20,13	1,59	1,60	
Rectangle équivalent et systèmes de pentes	Longueur Lre(Km)	Largeur Lre(Km)	Pente moyenne Pmoy (m/Km).	Pente brute i (m/Km), %.	Indice de pente Ip%	Dénivelée spécifique Ds
	62,1	10,36	298	4,6	0,06	
L'Altimétrie	Altitude Minimale Hmin(m)	Altitude Moyenne Hmoy(m)	Altitude Maxi- male Hmax(m)	hypsométrie H5%	Hypsométrie H95%	
	520	925	1984,335	1890	1180	
Hydrologie	Long. Du cours d'eau prin- cipal (Km)	Pente moyenne Du cours principale lmoy(m/ Km)	Densité de drainage Dd (Km/Km ²)	Rapport de confluence Rc	Rapport de longueur Rl	Coef. De torren- tialité Ct
	32,00	84	3,47			14,9
Temps de concentration - Giandotti	Tc Heures 9,29					

Tableau 3 : Valeurs des taux d'érosion calculés selon des formules empiriques et application du SIG

Formules empiriques appliquées	GAVRILLOVIC	ANRH-SOGREAH	TIXERONT
Erosion en suspension (t/m ² /an)	2 409	91	5 873,4

cette opération. En raison d'éventuelles erreurs qui pourraient se produire lors du transfert des données, il est recommandé de corriger toutes les erreurs de conversion jusqu'à ce que le fichier devienne exploitable sous SWMM. Les illustrations ci-dessous (Figure 7 et 8), traduisent la conversion des informations relatives à l'hydrologie du bassin versant, contenues dans le SIG, vers le logiciel de modélisation hydrologique Epa SWMM. L'exemple traité concerne un sous bassin versant du barrage d'Ighil Emda appelé (Oued Etaba).

8. Conclusion

A travers ce qui est présenté dessus, il s'avère clairement qu'en domaine d'études de défense et de conservation des sols et des eaux, Le SIG ne peut être que avantageux pour rendre les solutions et les décisions à prendre plus appropriées, plus pertinentes et contrôlables sur la plan technique et économique.

Si la thématique de conservation des sols et des eaux faisait partie des centres des préoccupations des pays à travers l'histoire, elle en est plus préoccupante aujourd'hui plus que jamais en raison des changements globaux et la raréfaction des ressources.

Le bon sens serait d'en faire un bon usage des techniques de l'information modernes en ajoutant des valeurs et en valorisant les progrès réalisés en termes de techniques d'aménagement des bassins versants.

Références

- ANRH/SOGREAH. (1989). Etude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires. Rapport 152p.+Annexes.
- Antoine, P., Biarez, J., Desvarreux, P., & Mougin, J. P. (1971). Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Géologie alpine, 47, 5-24.

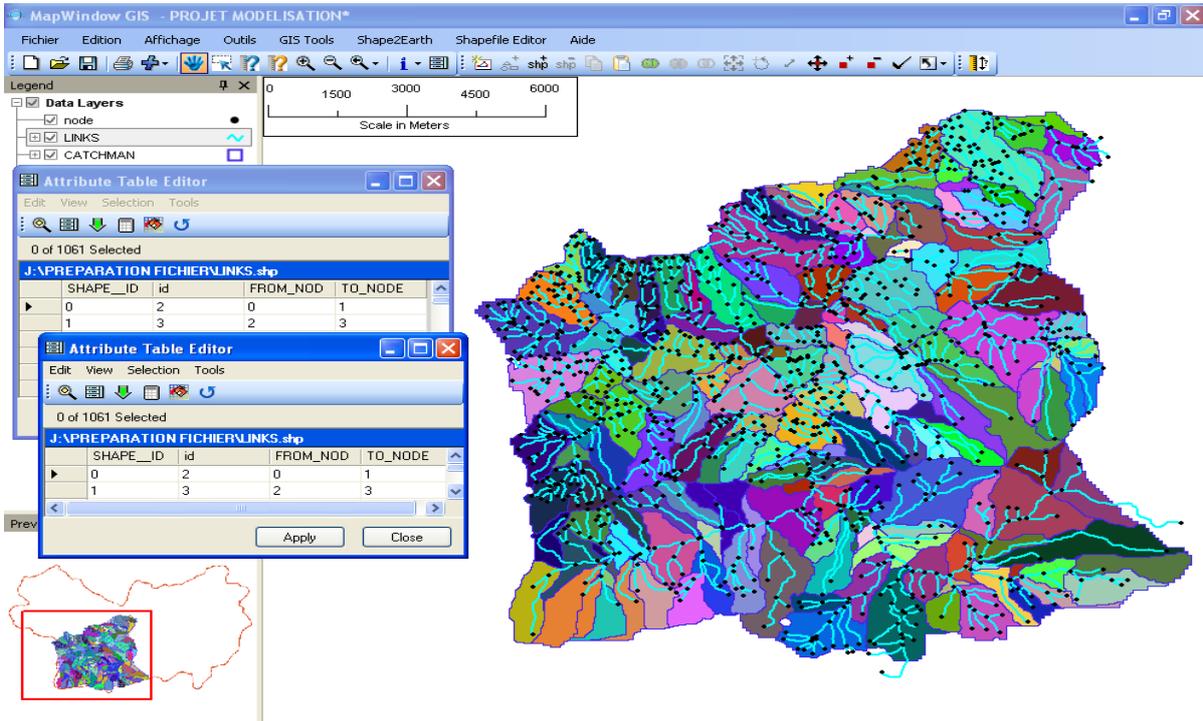


Figure 7. Conversion de données à partir du SIG vers le logiciel de modélisation hydrologique Epa SWMM

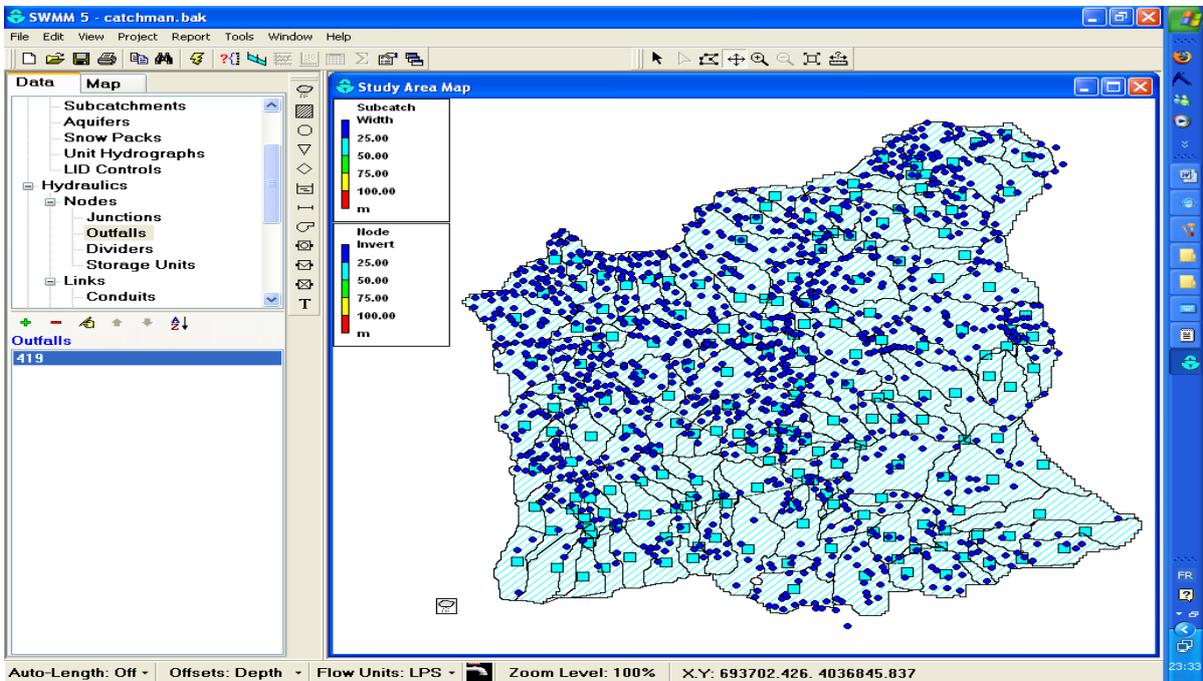


Figure 8. Base de données exploitable pour la modélisation hydrologique sous Epa SWMM

- Benchetrit, M. (1955). Le problème de l'érosion des sols en montagne et le cas du Tell algérien (Essai de géographie appliquée). *Revue de Géographie Alpine*, 43 (3), 605-640.
- Benchetrit, M. (1972). L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie, Pr. Univ. de France.
- Benderradji, M. E. H., Alatou, D., Arfa, A. M. T., & Benachour, K. (2006). Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation Impact du phénomène en Algérie. *New Medit*, 5(4), 15-22.
- Biarez J., Remarques sur la stabilité des talus. Influence de la loi de répartition des contraintes. *Archiwum hydrotechniki* tome 7., 1960.
- Taylor D.W., The stability of earth slopes, *Journal*, Boston society of Civ. Eng., vol24, n3, 1937.
- Bishop, A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17.
- Chowdary, V. M., Ramakrishnan, D., Srivastava, Y. K., Chandran, V., & Jeyaram, A. (2009). Integrated water resource development plan for sustainable management of Mayurakshi watershed, India using remote sensing and GIS. *Water resources management*, 23 (8), 1581-1602.
- Deloye, M., Rebour, H. (1956). La conservation de la fertilité des sols. Ed. Maison Rustique, 167 p.
- Gavrilovic, S. (1976). Bujicni tokovi i erozija (Torrents and erosion). *Gradevinski kalendar*, Beograd, Serbia.
- Greco, J. (1966). L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire.
- Hamdani, A. (2012). Evolution géomorphologique et morpho dynamique du bassin versant de l'Oued Agrioun à l'amont du barrage d'Ighil Amda (Région de Kherrata). Thèse de Magister, USTHB Alger, 116 pages.
- Heusch, B. (1986). Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord: un bilan. *Cah. ORSTOM Pédol*, 22(2), 153-162.
- Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., & Aksoy, H. (2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*, 212(1-3), 344-356.
- Mitchell, T. (2005). Web mapping illustrated using open source GIS toolkits. " O'Reilly Media, Inc."
- Monjauze, A. (1960). Le reboisement sur rootage en plein et sur, bourrelets. *Revue Forestière Française*, N°1, 1-25.
- Monjauze, A. (1961). Les exigences et les perspectives du développement agricole de l'Algérie : *Cahiers des Ingénieurs Agronomes*, N° 147.
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.
- Morsli, B., Habi, M., Mazour, M., Hamoudi, A., & Halitim, A. (2012). Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1(1), 33-40.
- Neteler, M., & Mitasova, H. (2013). Open source GIS: a GRASS GIS approach (Vol. 689). Springer Science & Business Media.
- Roose, É., Sabir, M., Arabi, M., Morsli, B., & Mazour, M. (2012). Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 6), 43-69.
- Saccardy, L. (1949). Nécessité de la lutte contre les érosions. Méthodes modernes de conservation des sols et des eaux. *Bull. Techn. des ISA*, N° 142.
- Sharma, T., Kiran, P. S., Singh, T. P., Trivedi, A. V., & Navalgund, R. R. (2001). Hydrologic response of a watershed to land use changes: a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Remote Sensing*, 22(11), 2095-2108.
- Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Wang, T. W., & Chow, T. L. (2004). Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. *Catena*, 55(1), 33-48.
- Singh, V. P., & Woolhiser, D. A. (2002). Mathematical modeling of watershed hydrology. *Journal of hydrologic engineering*, 7(4), 270-292.
- Steiniger, S., & Hay, G. J. (2009). Free and open source geographic information tools for landscape ecology. *Ecological informatics*, 4(4), 183-195.
- Putod R. (1956) - La protection des vignes contre l'érosion. *Revue Agronomie d'Afrique du Nord*, vol. 19, p. 567-576.
- Fellenius, W. (1936). Calculation of stability of earth dam. In *Transactions. 2nd Congress Large Dams*, Washington, DC, 1936 (Vol. 4, pp. 445-462).
- Tim, U. S., & Mallavaram, S. (2003). Application of GIS technology in watershed-based management and decision-making. *Watershed update*, 1(5), 1-6.
- Tixeront, J. (1960). Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. *IAHS Publication*, 53, 26-42.